动 物 学 研 究 2002, Aug. 23 (4): 288 ~ 295 CN 53 - 1040/Q ISSN 0254 - 5853
Zoological Research

# 双斑蟋鸣声特征与行为关系的初步研究

陈道海，林焕芳，李洁萍，丘占锋
（湛江师范学院生物系，广东 湛江 524048）

**摘要**：利用计算机声分析技术对双斑蟋（*Gryllus bimaculatus* 1773）的召唤声、不同性比的求偶声和争斗声的结构、频谱与时域特征进行比较，以探讨鸣声特征与行为的关系。结果表明：①3 种鸣声的脉冲时间长度（PL）、脉冲时间间隔（IPI）、每个脉冲群（PG）的脉冲数（PN）、声脉冲组合形态和密度等基本相同。这些特征参数较为稳定，为种间鉴别因子，其中以 IPI 为最。②节奏（Rh）、声长（SL）、间歇（IT）特征与蟋蟀的社会活动和个体活动有密切联系。从雄性单独生活时的召唤声到有雌性存在时的求偶声，每个节奏中的音节数逐渐增加，从单音节、双音节到多音节；SL、IT 呈下降趋势。不同性比条件下，雄性数量明显影响鸣声特征。雄性数目增加，Rh、SL 呈上升趋势；IT 呈下降趋势。不同比例的雌性对雄性鸣声的影响无明显规律。③鸣声的频谱与时域呈一定对应关系。召唤声、求偶声和争斗声的脉冲能量主要集中在 1 个能量区上，表现出种的同一性。

**关键词**：双斑蟋；鸣声；行为；声谱分析
**中图分类号**：Q969.263.4；Q62；Q968 **文献标识码**：A **文章编号**：0254 - 5853(2002)04 - 0288 - 08

# Comparative Analysis on the Sounds Acoustic Property of *Gryllus bimaculatus*

CHEN Dao-hai, LIN Huang-fang, LI Jie-ping, QIU Zhan-feng
(*Biology Department, Zhanjiang Normal College, Zhanjiang 524048, China*)

**Abstract**: The structure, power spectrum and temporal parameters of the calling sound, courting sound and wrestle sound (different sex ratio) of *Gryllus bimaculatus* were studied with acoustic analysis techniques of computer. The results show: ① Pulse length (PL), inter pulse interval (IPI), pulse number of each pulse group (PN), and sounds pulse are almost the same in the calling sound, courting sound and wrestle sound. These features show the species recognition of factor. Among them, IPI is the most important. ② Other features, such as rhythm, sound length, sound intermission have a close contact with the social and individual activity of *Gryllus bimaculatus*. From calling sound to courting sound, the syllable numbers of each rhythm is gradually increasing from one syllable, two syllables to many syllables. But sound intermission is decreasing. In the different sex rate, the number of males clearly affects the sound feature. When male increase, the rhythm and sound length increase, but sound intermission decrease. Different rate of female have no law. ③ Power spectrum and temporal parameters of the sound has a corresponding relation. Various pulse energy of sounds, including calling sound, courting sound and wrestle sound assemble in one energy range.

**Key words**: *Gryllus bimaculatus*; Sounds; Behavior; Analysis of sound spectrum

发音是昆虫传递信息的有效方式之一，它在种内个体间的召唤、求偶、攻击、报警等方面起着非常重要的作用。发音现象普遍存在于昆虫中，据不完全统计，发音昆虫达 16 个目之多（常岩林，2000；彩万志，1988）。这些昆虫的声通讯和人类的语言交流一样，不同种类的昆虫有着不同的“语言”，具特定的“语言”结构特征。经过长期的自然选择，鸣声已有了功能性分化，同种昆虫随性别、个体、龄期及所处环境的不同而有变化。目前，昆虫分类学家常把鸣声作为鸣虫类昆虫分类学鉴别的手段之一（雷仲仁

收稿日期：2001 - 11 - 26；接受日期：2002 - 03 - 26
基金项目：湛江师范学院重点科研资助项目（L111）

等,1994;李恺和廉振民,1999;李恺和郑哲民,1999;吴福桢等,1986)。近20年来,随着电声技术的迅速发展和计算机的应用普及,昆虫的鸣声结构特性的分析已达到数字化水平。借助计算机技术,不仅能对鸣声结构的节奏、音节、脉冲群等结构层次(吴福桢等,1986)进行分析,而且能客观准确地记录和分析鸣声的基本单元——脉冲的基本特征,如脉冲时间长度、脉冲时间间隔等。

本文旨在研究实验室条件下双斑蟋(*Gryllus bimaculatus*)召唤声、求偶声、争斗声的声学特征,探讨鸣声与相应行为的关系。

## 1 材料与方法

### 1.1 材 料

实验用蟋蟀采自湛江市寸金公园。采集期间每天17:00循其鸣声徒手捕捉雄虫,并随机捕捉雌虫。养虫瓶底放少许泥土,捕捉到的蟋蟀单只置于玻璃瓶内,供给苹果、青菜、番薯等食物。把有虫玻璃瓶放在紧靠窗户的实验台上,使蟋蟀接受自然光照。实验前,让蟋蟀适应环境2~3 d,以恢复正常鸣叫。

### 1.2 方 法

发音器结构观察:将雄性一侧的前后翅取下,用电子溅射仪(E-1010)镀膜后,在Philips SL30扫描电镜下观察音齿和音锉。

录音方法:鸣声记录在没有杂音的条件下进行。自然光照,室内环境温度为22~24 ℃。将计算机外接麦克风垂直放在装有目标动物、直径为10 cm的行为测验瓶中录音,采用Cool-edit 2000软件对不同行为状态下的典型鸣声进行收集和整理。经反复筛选,择其效果最佳的鸣声进行分析。采样率为44.1 kHz,16位,立体声。同时借助傅氏变换(FFT: size 8192)对鸣声信号进行频谱分析。数据分析采用平均数±标准差(样本含量)表示。频谱幅值以相对声强($Ra$)表示,$Ra = 20\log A/A_0$($A$为各分量值,$A_0$为最大分量值)。

录制多个雄性在一起的争斗鸣声时,把后放入的雄性个体摘去左翅。

## 2 结果与分析

### 2.1 发音及其结构

双斑蟋的发音器由音锉和刮器2部分组成。音锉由雄虫右前翅腹面一斜行的翅脉特化而成,锯齿状的音齿,斜立在一条弯曲延伸的齿脉上,形成一个齿列(file)(图1B),音齿数约120个。靠近翅基部齿列的起始端,音齿小,齿间隔较近。齿列的中段以上至近末端,音齿大,齿间距离稍远。左前翅与之相对的后缘形成刮器(plectrum),它是接受音锉磨擦的基物,结构简单,仅是边缘的硬化部分。蟋蟀鸣叫时,前翅举起,与背面约成45°角,双翅两侧横向迅速地张开与闭合,使音锉与刮器相互磨擦,进而使翅振动发声。雄虫前翅上的磨擦部分除了有音锉和刮器外,还有膜,膜的振动能把声音放大,经过放大与共鸣,即可发出一个个脉冲波。双翅张开时并不发出声音,只有闭合时才能发出响声。蟋蟀的每次闭合运动往往产生一个音锉脉冲声列(file-train of pulses,FIP),每个音锉脉冲声列则由一个时程较短的开翅脉冲和数量有限而波幅逐渐上长的闭齿脉冲组成。磨擦的快慢决定脉冲频率的高低。脉冲串时间长度取决于每次振动持续的时间。

### 2.2 召唤声

雄虫鸣叫的主要功能是吸引处于性接受状态的雌性个体(贾志云和蒋志刚,1999)。雄虫不受任何干扰时(即无同性竞争者、雌性、敌害)所发出的鸣叫声称为召唤声。

示波图(图2a~c):在开始的一段时间里,节奏平稳,由周期性重复典型的2~3个音节组成(图2a),音节声长(SL)、间歇(IT)见表1。每个单音节由若干间隔规则的脉冲群(PG)构成(图2b),脉冲群开始呈现调幅特性,最后逐渐变为准等幅。每个脉冲群均是由1个振幅大的脉冲和几个振幅小的脉冲组成,脉冲持续时间(PL)、脉冲时间间隔(IPI)见表1。每个脉冲由一系列呈正弦波组合形态的声脉冲(PN)组成(图2c)。

频谱图(图2d):能量主要集中在1个能峰上,频率范围(FR)、主能峰频率(MEPF)、主能峰最大振幅值(MEA)列于表1。

### 2.3 求偶声

求偶声是增强吸引雌虫和提高交配率的策略之一(Doolad *et al*.,1981)。求偶声可分为低潮声和高潮声及交配前的低潮声。从召唤声到求偶声,其节奏明显出现一定变化,但仍都保持与召唤声基本相同的结构层次。

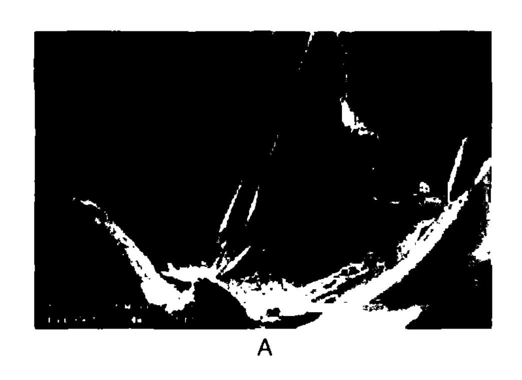
2.3.1 求偶低潮声(1♀:1♂) 求偶低潮声(图3)的节奏无一定的周期,每个节奏含的高幅音节不等,从3、4个开始逐渐增加至6、7个。每个音节脉冲序列由间隔规则的脉冲群构成;脉冲群的变化、每个脉

冲群的组成、声脉冲形态与召唤声相近。仅小波数量不同。

2.3.2 求偶高潮声(1♀:1♂) 求偶高潮声(图4)的节奏周期性不明显,含有的高幅音节数量也不等,以多音节为主,一般有40~50个,多达100个以上。每个音节脉冲序列是由若干呈有规律上升的纺缍形脉冲群组成。

2.3.3 不同性比条件下的求偶声(2♀:1♂,3♀:1♂) 当2雌1雄聚集时,雄虫求偶目标不确定,对2个雌虫作出不同的反应。该鸣声节奏的周期性不强,音节从3、4个开始逐渐增加至6、7个。若2雌对其求爱均无反应时,雄虫发出"愤怒"声,音节可达30~40个。每个音节脉冲序列由若干个前后振幅变化极为明显的脉冲群构成。该鸣声频谱有2~3个波峰(图5)。

随着雌虫数目增加,如3雌1雄聚集,雄虫求偶


A

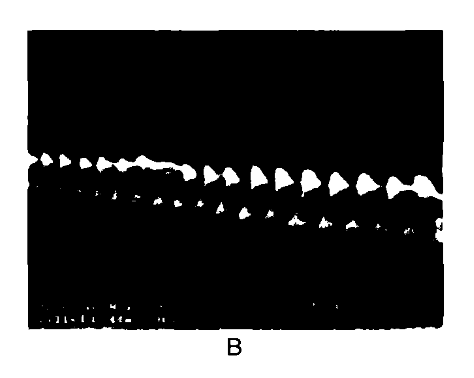

B

图1 双斑蟋雄虫的音齿

Fig.1 Stridulatory teeth of the male in *Gryllus bimaculatus*

A. 雄性右前翅整体观,箭头示音锉(Whole view of male right anterior wing, arrow showing the file) B. 音齿的排列(Arrangement of the stridulatory file teeth)。

**表1 不同性比条件下双斑蟋鸣声声学特征比较**

**Table 1 The comparison of sounds acoustic property in different sex ratio of *Gryllus bimaculatus***

| | | 召唤声(CS) | 求偶声(CRS) | | | | | 争斗声(WS) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 1♀1♂ 低潮声(LCS) | 1♀1♂ 高潮声(HCS) | 2♀1♂ | 3♀1♂ | 1♀1♂ 交配低潮声(MS) | 1♀2♂ | 1♀3♂ |
| 样本数 No. of sample | | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| 示波图 Oscillogram | SL (ms) | 577±21 | 106±3 | 115±3 | 139±3 | 109±3 | 258±3 | 132±2 | 144±2 |
| | IT (ms) | 962±18 | 171±3 | 143±2 | 164±3 | 171±3 | 180±3 | 145±2 | 118±9 |
| | PG (ind.) | 16~18 | 16~18 | 16~17 | 14~16 | 14~16 | 40~50 | 16~18 | 20~22 |
| | PL (ms) | 5~6 | 5~6 | 5~6 | 5~6 | 5~6 | 5~6 | 5~6 | 5~6 |
| | IPI (ms) | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | PN (ind.) | 34~36 | 31~34 | 35~37 | 33~34 | 33~34 | 29~31 | 34~35 | 30~32 |
| 频谱图 Frequency spectrogram | NMEZ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | FR (kHz) | 5.877~7.108 | 5.459~7.261 | 4.344~7.990 | 5.194~7.208 | 4.823~6.943 | 4.452~6.890 | 5.194~7.873 | 4.399~7.950 |
| | MEPF (kHz) | 6.419 | 6.230 | 6.100 | 6.310 | 6.014 | 5.500, 6.000, 6.600 | 6.201 | 5.936 |
| | MEA (dB) | -62 | -64 | -68 | -56 | -42 | | -48 | -48 |

CS: Calling sound; CRS: Courting sound; WS: Wrestle sound; LCS: Low courting sound; HCS: High courting sound; MS: Mating sound before fertilization.

SL: 声长(Sound length); IT: 间歇(Interval time); PG: 每个脉冲群(Pulse group); PL: 脉冲时间长度(Pulse length); IPI: 脉冲时间间隔(Interlude of pulse interval); PN: 每个脉冲群的脉冲数(Pulse number of pulse group)。

NMEZ: 主能区数量(number of main energy zone); FR: 频率范围(Frequency range); MEPF: 主能峰频率(Main energy peak frequency); MEA: 主能峰最大振幅(Main energy amplitude)。

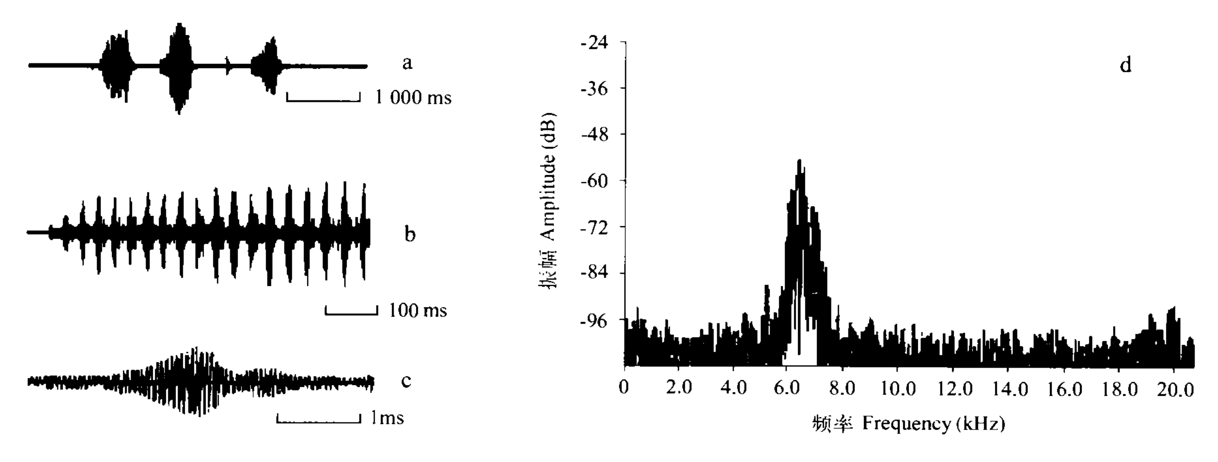



图 2　双斑蟋的召唤声

Fig.2　Calling sound in *Gryllus bimaculatus*

a，b，c 分别为节奏、脉冲群和声脉冲的示波图（Oscillogram of rhythm，pulse group and a pulse respectively）；d 为频谱图（Frequency spectum）。

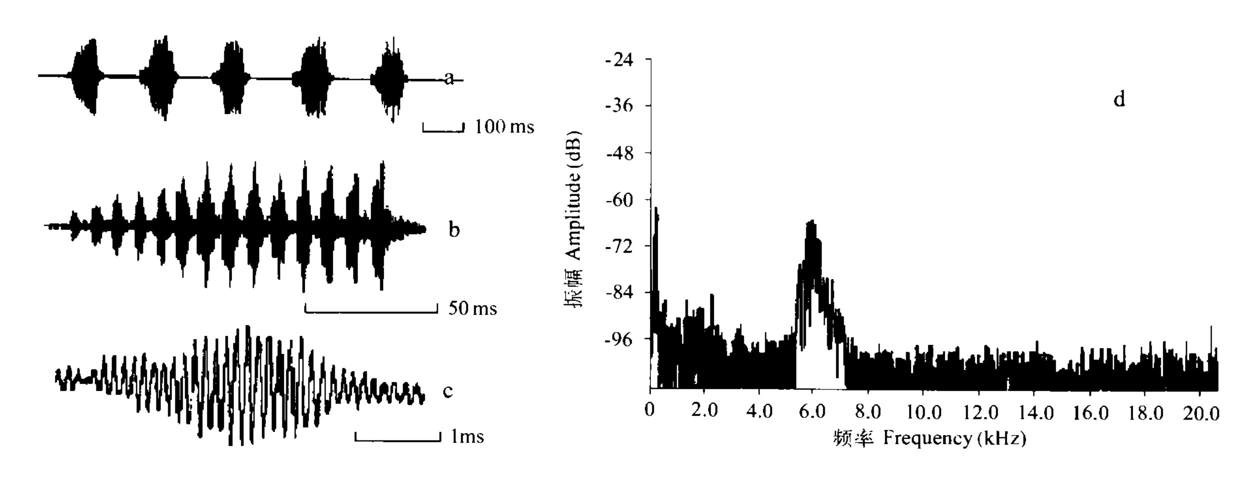



图 3　双斑蟋的求偶低潮声

Fig.3　The low courting sound in *Gryllus bimaculatus*

a ~ d 同图 2（a - d as Fig.2）。

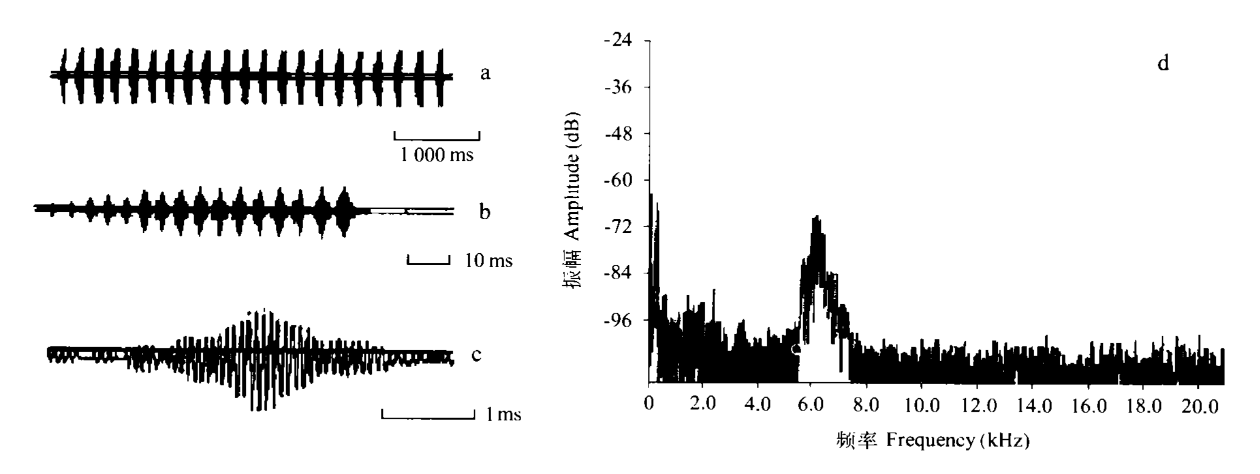



图 4　双斑蟋的求偶高潮声

Fig.4　The high courting sound in *Gryllus bimaculatus*

a ~ d 同图 2（a - d as Fig.2）。

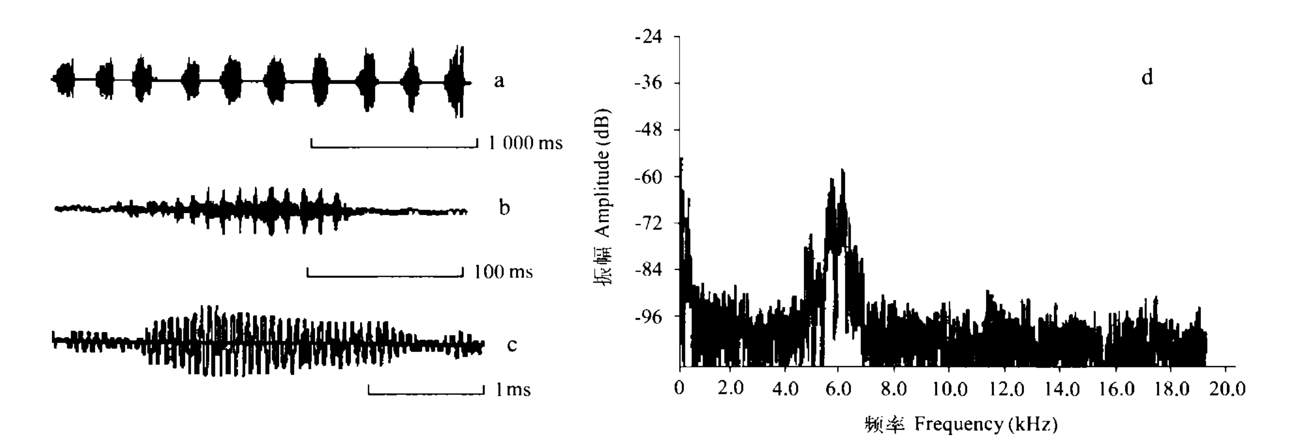



图5 2♀:1♂时双斑蟋的求偶声

Fig.5 Courting sound in *Gryllus bimaculatus* (2♀:1♂)

a~d 同图2 (a-d as Fig.2)。

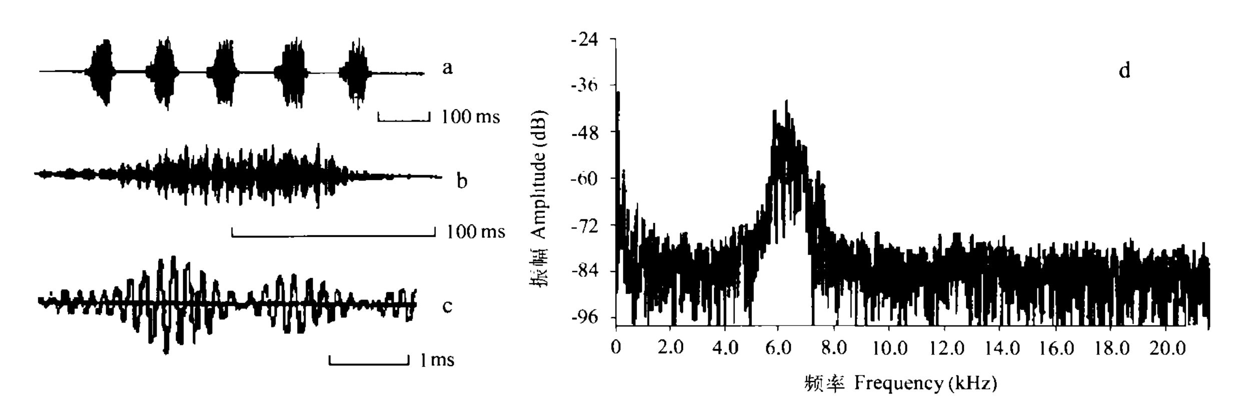



图6 3♀:1♂时双斑蟋的求偶声

Fig.6 Courting sound in *Gryllus bimaculatus* (3♀:1♂)

a~d 同图2 (a-d as Fig.2)。

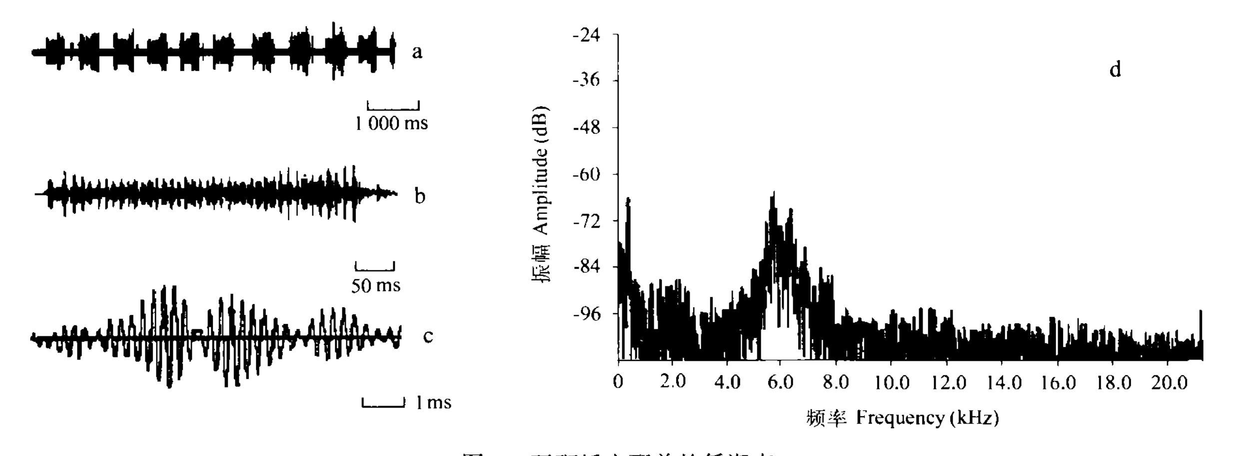



图7 双斑蟋交配前的低潮声

Fig.7 The mating sound before fertilization in *Gryllus bimaculatus*

a~d 同图2 (a-d as Fig.2)。

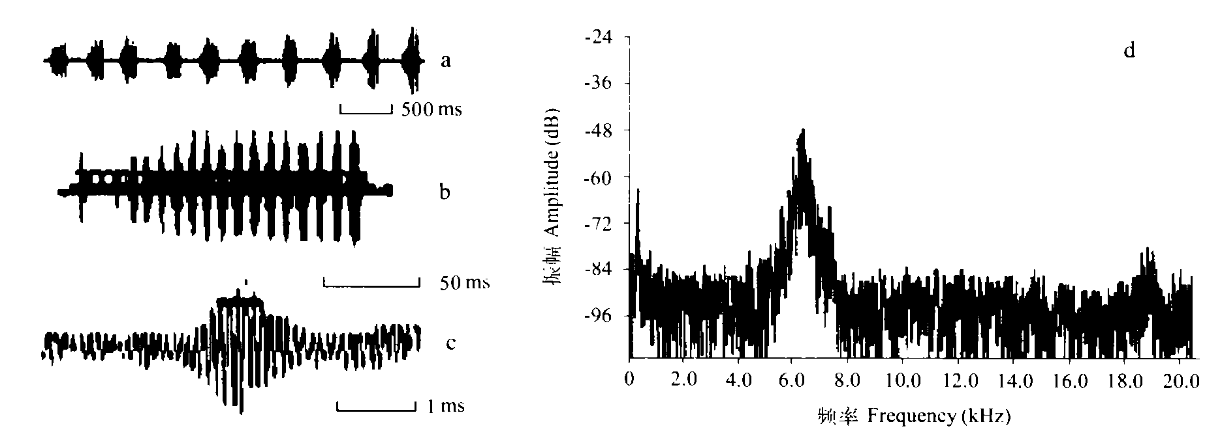



图 8　1♀:2♂ 时双斑蟋的争斗声
Fig.8　Wrestle sound in *Gryllus bimaculatus* (1♀:2♂)
a～d 同图 2 (a－d as Fig. 2)。

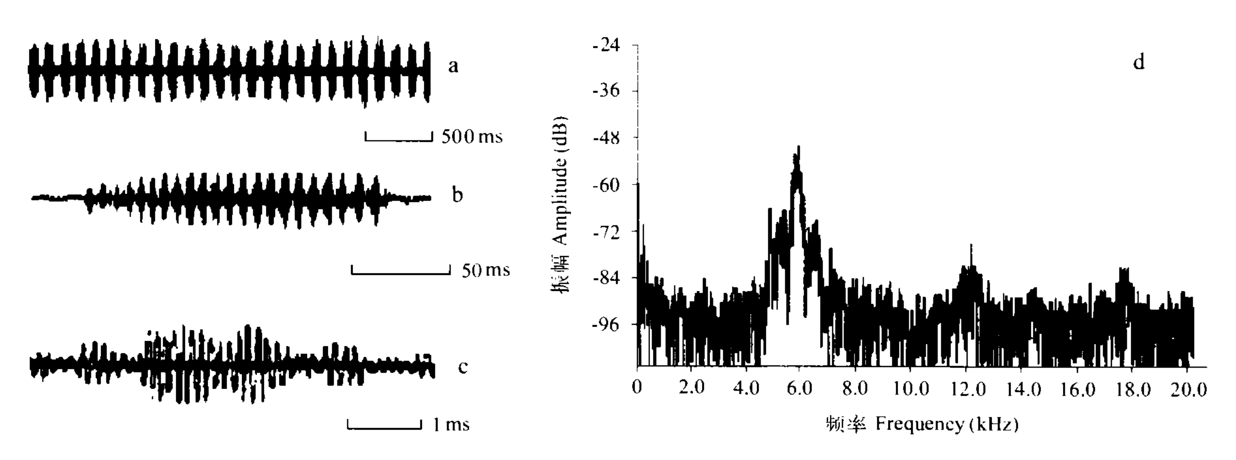



图 9　1♀:3♂ 时双斑蟋的争斗声
Fig.9　Wrestle sound in *Gryllus bimaculatus* (1♀:3♂)
a～d 同图 2 (a－d as Fig.2)。

方向更加不确定。往往会根据不同雌虫作出不同的鸣声反应，或专注地向 1 只雌虫求爱。鸣声特征与 2 雌 1 雄集聚时基本相同，即节奏的周期性不强，音节从 3、4 个开始逐渐增加至 6、7 个。若雌性对其求爱均无反应时，雄虫会发出更强的"愤怒"之声，音节可达 40～50 个(图 6)。

2.3.4　交配前的低潮声　准备交配时，呈性反应状态的雄虫发出另外一种求偶声。鸣声节奏平稳，音调低沉。如果雌虫受其鸣声吸引，立即爬至雄虫背上交配。若雌虫不接受雄虫的求爱、或一次交配不成功，雄虫则会继续发出这种鸣声。每个音节脉冲序列是由 40～50 个间隔不规则和振幅不等的脉冲群组成。但每个声脉冲明显分为 3 个部分，与以上呈完整纺锤形的声脉冲有所不同(图 7)。Crossley (1986)认为，*D. bipectinata* 的"短歌"可能对雌蝇有性兴奋作用，而"长歌"可能是种间识别因子。因此可以推断，交配前鸣声脉冲分为 3 个部分，对雌蟋蟀有性兴奋作用。频谱图也具有 3 个能峰，频率为 5.5、6.0、6.6 kHz，这是与其他鸣声所不相同的(图 7)。

雄虫交配后，在生理学上的不应期内不再鸣叫或仅发出单调的鸣声。

**2.3　不同性比密度下的争斗声**

为了争夺领地或雌性，雄蟋蟀发出一种高亢而急促的格斗声。这是一种显示力量和示威的鸣声。

当 1 雌 2 雄聚集时，该鸣声的节奏没有一定的周期性，音节最少 8、9 个，通常有 40～50 个，最多可达 100 个以上(图 8)。该鸣声频谱能量区不等，但明显的也只有一个。当 1 雌 3 雄聚集时，雄蟋蟀彼此受到的威胁更加增强，这种警告叫声也增强，音节数也不断增加，一般有 40～50 个，最多可达 100 个以上(图 9)。

## 3 讨 论

不同行为模式下的蟋蟀鸣声的脉冲时间长度(PL)、脉冲间隔(IPI)以及声脉冲的正弦组合形态和声波数基本相同,差异不大。Schilcher(1976)认为脉冲间隔(IPI)有种的特异性,是种间识别因子(Ewing,1979)。本文实验结果中,不同行为模式下的IPI和PL相同,也证明这种结论是正确的。PL也适用作为种间识别因子。我们推测IPI和PL应该分别与音锉上的音齿距离和音齿厚度有关,而每一双斑蟋蟀个体的音齿距离和厚度差异不大,因此IPI和PL相同。Ewing(1979)提出在某些种中,脉冲群间隔(即音节间歇,IT)也是种间识别因子,从本实验的结果来看,双斑蟋蟀在不同行为模式或性比情况下,脉冲群间隔并不完全一致(表1)。其原因有待进一步研究。另外,每个音节的脉冲群数量(PG)除了在交配前差异较大以外,在其他几种情况下一般变化不大。北京地区非洲蝼蛄(*Gryllotalpa africana*)的每个声脉冲包含12个波,而双斑蟋蟀的声波数为29~37个。以上结果提示PL、IPI、PG和PN等声波参数对种类的鉴别具有一定借鉴意义。当然,鸣声在起始时和结束之前,鸣声段、脉冲序列也有很短的一段呈现不规则现象,这可能与当时的发音器磨擦速度有关(何忠等,1989)。

召唤声为同种个体间远距离通迅的一种方式,是个体间联系的一种信号,蟋蟀可以通过这种信号找到食物源和适生地或配偶。召唤声也是占区鸣叫的一种表现。音节与求偶声相比,持续时间长。一方面,便于雌虫前来寻找配偶所在地;另一方面则是雄虫宣告领域的归属和起到保卫作用。然而鸣叫会暴露蟋蟀的位置,从而招引天敌(Belwood & Morris,1987);或引来同种竞争对手,增加雄虫之间的争斗,降低鸣叫雄虫的繁殖成功率。另外,磨擦双翅发声耗费能量,为了减少能量的损耗以及避免上述危险的发生,呼叫时,节奏平稳,音节少,间歇时间长,这是物种适应性的一种表现。

求偶声是雌虫来到雄虫领地,雄虫改变声调,发出的另一种鸣声,它是雌雄交配前的专用信号。许多昆虫配偶的识别过程,需要雄性求爱歌与雌性的优先选择来协调(Greenacre *et al*.,1993)。因此,就系统进化而言,雄性求爱歌的改变才能导致性优先选择相应改变。所以雄蟋蟀求偶声的出现也是自然长期选择的结果。当雌虫来到雄虫领地,两者距离拉近,雄虫继续发出长时间鸣叫,并不能给雄虫带来选择上的利益(贾志云和蒋志刚,1999)。为了避免招引外敌,排除干扰,降低危险,同时又表达强烈的交配意识,吸引雌虫出现性接受状态。雄虫鸣声变得急促、低沉。节奏中的音节个数也随之增加,而SL、IT均呈下降趋势(与召唤声相比)。交配前低潮声与求偶时的低潮声、高潮声相比,SL、IT有所提高,这可能与导致雌性优先选择交配有关。在整个实验观察过程中,每当雌雄发生交配前,一定发出这种低沉的鸣声。交配前特有的鸣声是完成交配的必要条件。是否接纳,关键在于雌虫的性反应状态。

研究中发现,不同性比密度下,雄虫在求偶、交配等一系列行为中,声学特征有明显差异。随着雄虫数量增多,鸣声节奏变长,并且声长呈上升趋势,间歇呈下降趋势。这主要是因为雄虫相遇时,一般具有防御的行为模式,或为争夺领地,或为争夺配偶或食物源。蟋蟀的防御行为包括注视(gazing)、鸣叫(calling)、追逐(pursuit)与攻击(aggreession)。双斑蟋的竞争多以比较温和的注视和鸣叫方式进行,攻击性行为不常见。经一系列防御行为后,从而确立它们的社会等级地位。防御鸣声的节奏、声长、间歇的长短与鸣叫时紧张程度有关,情况越紧急,鸣声越紧促,间隔越小,而且频带加宽。这种鸣声可起到告警和驱逐作用。而雌虫却没有这种特性,它们任何时候都能和平共处,互相之间没有争斗的防御行为。雄虫与不同数量的雌虫聚集时,鸣声各异,它主要取决于其中不同雌虫的性反应,因而鸣声的节奏、声长、间歇无明显规律或差异不大。有的研究表明,音锉脉冲声列的时程与间隔也与环境温度有关,随着环境温度下降,SL、IT均明显上升,而时程与间歇之比也不断减少(彩万志,1988;吴福桢等,1986;杨培林等,2000)。

鸣声的脉冲频谱特性与示波图有一定的对应关系,各脉冲的能量主要集中在1个能量区,这是基本音的能量区,说明双斑蟋蟀的鸣声以基本音为主,泛音少。在所有频谱图中,能量区最高峰是随着蟋蟀的闭翅运动的出现而出现的,而其他开翅运动及各种音节间隔的频段的声能显著降低。各鸣声的功率和频率都呈中间2个脉冲高而开始和结尾脉冲低的变化规律。雌虫选择配偶的基础是雄蟋蟀的鸣叫强度,而鸣声的强度与刮器对音锉的刮击有关,刮击越重,复翅振动的强度就越大。这种刮击又与雄虫紧张程度有关。在召唤声中,音节变化

慢，间歇时间长，频带相对窄，能量不集中，相对声强低，因而鸣声语调变化平缓。求偶声音节变化快，间歇持续时间短，频带相对宽，能量集中，而且高潮声的相对声强也相应提高，明显具有警戒叫声的特征。同样，在不同性比密度下，随着雄虫比例增大，音节与频谱特性出现上述相应的变化，与时域特性呈一定的对应关系。然而若雌虫数目增加，频谱差异则不大。

综上所述，蟋蟀的鸣声是传达信息、协调个体间行为的一种通讯方式，与其行为有密切联系，不同行为表现出不同的鸣声特征。通过鸣声声学特征的比较分析，可以实现种类鉴别以及行为特征分析。掌握鸣声的主要信息特征，可为声引诱的声学模型最佳参量的设置提供依据，从而达到种群控制和管理目的。

**参考文献：**


Belwood J J, Morris G K. 1987. Bat predatin and its influence on calling behavior in nertropical katydids[J]. *Science*, **238**: 64 - 67.

Cai W Z. 1988. Sound production in insects and its application in taxonomy[J]. *Entomological Knowledge*, **25**(1): 41 - 44. [彩万志. 1988. 昆虫的发音及其分类上的应用. 昆虫知识, **25**(1): 41 - 44.]

Chang Y L. 2000. The communication of chirp insects[J]. *Bulletin of Biology*, **35**(2): 11 - 13. [常岩林. 2000. 昆虫的鸣声通信. 生物学通报, **35**(2): 11 - 13.]

Crossley S A. 1986. Courtship sounds and behaviour in the four species of the *Drosophila bipectinata* complex[J]. *Anim. Behav.*, **34**: 1146 - 1159.

Doolad J M, Nolly R M. 1981. Spatial dynamics and breeding ecology in the cicado *Cystosoma saundersii*: The interaction between distributions of resowces and intraspecific behaviour[J]. *J. Anim. Ecol.*, **50**: 925 - 940.

Ewing A W. 1979. Complex courtship songs in the *Drosophila funebris* species group: Escape from an evolutionary bottleneck[J]. *Anim. Behav.*, **27**: 343 - 349.

Greenacre M L, Ritchie M G, Byrne B C. 1993. Female song preference and the period gene in drosophila[J]. *Behav. Genet.*, **23**: 85 - 90.

He Z, Chen N L, Xi R H, *et al*. 1989. The sound structure and acoustic attraction of the mole cricket *Gryllotalpa africana* Palisot de Beauvois[J]. *Acta Zoologica Sinica*, **35**(1): 73 - 81. [何　忠, 陈念丽, 席瑞华, 等. 1989. 非洲蝼蛄的鸣声结构及声引诱. 动物学报, **35**(1): 73 - 81.]

Jia Z Y, Jiang Z G. 1999. Ethograms and mating behaviors of *Velerifictorus micado* and *Gampsocleis gratiosa*[J]. *Acta Zoologica Sinica*. **45**(1): 49 - 56. [贾志云, 蒋志刚. 1999. 迷卡斗蟋和短翅鸣螽的行为谱及交配行为. 动物学报, **45**(1): 49 - 56.]

Lei Z R, Chou Y, Li L. 1994. The sound characteristics of cicada songs and their significance in classification (Homoptera: Cicadoidea)[J]. *Entomotaxonomia*, **16**(1): 51 - 58. [雷仲仁, 周　尧, 李　莉. 1994. 蝉鸣特征及其在分类学上的意义. 昆虫分类学报, **16**(1): 51 - 58.]

Li K, Lian Z M. 1999. Sound structure analysis of three species of crickets (Orthoptera: Grylloidea) from Hubei Province[J]. *Entomotaxonomia*, **21**(3): 187 - 190. [李　恺, 廉振民. 1999. 湖北省三种长颚蟋鸣声结构分析. 昆虫分类学报, **21**(3): 187 - 190.]

Li K, Zheng Z M. 1999. Sound characteristics analysis and the identification of six species of *Loxoblem* Mus (Orthoptera: Grylloidea)[J]. *Entomotaxonomia*, **21**(1): 17 - 21. [李　恺, 郑哲民. 1999. 棺头蟋属六种常见蟋蟀鸣声特征分析与种类鉴定. 昆虫分类学报, **21**(1): 17 - 21.]

Schilcher F V. 1976. The role of auditory stimuli in the courtship of *Drosophila melanogaster*[J]. *Anim. Behav.*, **24**: 18 - 26.

Wu F Z, Feng P Z, He Z. 1986. Sound structure and the identification of common cricket in Beijing and Yinchuan[J]. *Acta Entomologica Sinica*, **29**(1): 62 - 66. [吴福桢, 冯平章, 何　忠. 1986. 北京及银川常见蟋蟀鸣叫习性与种类鉴定. 昆虫学报, **29**(1): 62 - 66.]

Yang P L, Chang Y L, Lu R S. 2000. Stridulatory character of *Ducetin japonica* Thunberg[J]. *Journal of Guangxi Academy of Science*, **16**(3): 138 - 141. [杨培林, 常岩林, 芦荣胜. 2000. 日本条螽斯鸣声特征的初步研究. 广西科学院学报, **16**(3): 138 - 141.]